

논문 2016-11-10

에너지 수집형 무선 센서 네트워크에서 선택적 데이터 압축을 통한 동적 센싱 주기 제어 기법

(Dynamic Sensing-Rate Control Scheme Using a Selective Data-Compression for Energy-Harvesting Wireless Sensor Networks)

윤익준, 이준민, 정세미, 전준민, 노동건*

(Ikjune Yoon, Jun Min Yi, Semi Jeong, Joonmin Jeon, Dong Kun Noh)

Abstract : In wireless sensor networks, increasing the sensing rate of each node to improve the data accuracy usually incurs a decrease of network lifetime. In this study, an energy-adaptive data compression scheme is proposed to efficiently control the sensing rate in an energy-harvesting wireless sensor network (WSN). In the proposed scheme, by utilizing the surplus energy effectively for the data compression, each node can increase the sensing rate without any rise of blackout time. Simulation result verifies that the proposed scheme gathers more amount of sensory data per unit time with lower number of blackout nodes than the other compression schemes for WSN.

Keywords : Wireless sensor network, Energy-harvesting, Compression, Sensing-rate, Accuracy

1. 서론

센서 네트워크는 주변 환경의 온도, 습도, 기압 등의 데이터를 얻기 위해 사용되어 왔다. 그 중, 무선 센서 네트워크는 사람이 접근하기 힘든 지역이나 광범위한 지역과 같이 선을 설치하기 힘든 환경에 사용되어 왔다. 이러한 무선 센서 네트워크에서는 전선을 설치할 수 없기 때문에, 무선 센서 노드는 전원을 연결하지 않고 배터리를 이용하여 동작한다. 한편 배터리를 사용한 노드들은 유한한 수명을 가지고 있고, 배터리의 수명이 다 하면 폐기해야 되기 때문에, 노드의 소모 에너지를 줄이는 기법에 대한 연구가 많이 진행되어왔다 [1, 2].

노드의 짧은 수명을 개선하기 위한 방법으로, 주변 환경으로부터 에너지를 수집하는 방법이 있다. 에너지 수집 노드는 주변 환경으로부터 수집된 에너지를 이용하기 때문에 이론상으로 무한한 수명을 가질 수 있다. 그렇기 때문에, 기존의 연구들이 에너지의 소모를 줄여서 네트워크를 오래 유지하기 위한 것이었던 반면, 에너지 수집 노드를 이용한 무선 센서 네트워크에서는 수집되는 에너지를 노드가 죽지 않는 범위 내에서 효율적으로 사용하는 것을 목적으로 한다. 특히 노드의 에너지가 남을 경우, 이를 활용하여 추가로 데이터를 수집함으로써 데이터의 정확도를 높일 수 있다.

한편, 무선 센서 네트워크에서는 각 노드가 싱크 노드에 데이터를 전송하기 위해 에드혹 기법을 사용한다. 즉 한 노드에서 전송하는 데이터를 다른 중계 노드들이 받아서 싱크 노드까지 전달하는 방식을 사용한다. 그 결과, 싱크 노드에 가까운 노드일수록 전달하는 데이터가 많아지기 때문에 싱크 노드에 가까운 노드들의 에너지 고갈이 빈번해진다 [3, 4]. 이를 완화시키기 위한 한 방법으로 데이터를 압축해서 전송하는 방법이 있다. 데이터를 압축해서 전송하게 되면 패킷의 크기가 줄어들기 때문에 중계 노드의 부담을 줄일 수 있다. 그러나 데이

*Corresponding Author(donggeon.noh@gmail.com)

Received: 31 Jan. 2016, Revised: 9 Mar. 2016, Accepted: 18 Mar. 2016.

I. Yoon, J.M. Yi, S. Jeong, D.K. Noh: Soongsil University

J. Jeon: Seoul National University

※ 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 대학ICT연구센터육성 지원사업의 연구 결과로 수행되었음 (IITP-2016-H8501-16-1008)

터의 압축에 소모되는 에너지가 무시할 수 없을 만큼 크기 때문에 주의하여 적용해야 한다.

본 논문에서는 에너지 수집 노드를 이용한 무선 센서 네트워크에서 노드의 남은 에너지에 따라 적응적으로 데이터 수집 주기를 조절하고, 효율적인 압축 알고리즘을 선택하여 이를 압축해서 전송함으로써 노드의 정전 시간을 줄이는 동시에 데이터의 정확도를 높이는 기법을 제안한다. 이를 위해, 이 기법은 노드의 에너지가 남을 때, 이를 활용하여 데이터의 수집 주기를 짧게 하여 데이터를 많이 수집하고, 압축률이 좋은 압축 알고리즘을 선택하여 이를 압축해서 전송한다. 반대로 에너지가 적을 때, 데이터 수집 주기를 길게 하고, 에너지 효율이 좋은 압축 알고리즘을 선택하여 데이터를 압축해서 전송한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 무선 센서 네트워크에서의 압축 기법과 에너지 수집 노드를 활용한 관련 연구를 소개하고, 3장에서는 우리가 제안하는 적응적 압축 기법을 설명하며, 4장에서 이 기법의 성능을 측정된 결과를 보여주고 5장에서 논문을 마무리한다.

II. 관련 연구

1. 무선 센서 네트워크에서의 데이터 압축

센서 노드는 초소형의 내장형 시스템으로 구현되어 하드웨어적인 제약이 많다. 특히 느린 처리 속도와 적은 메모리 용량을 이용하여 한정된 에너지 내에서 계산을 해야 하기 때문에 이에 적합한 경량 압축 기법이 필요하다 [5, 6].

[7]에서는 비손실 압축 기법인 LZW (Sensor Lempel-Ziv-Welch) 알고리즘 [8]을 센서 노드에서 동작할 수 있도록 경량화한 기법인 S-LZW (Sensor Lempel-Ziv-Welch) 기법과, 수집된 데이터에 가역변환인 BWT (Burrows-Wheeler Transform) [9]를 수행한 뒤, S-LZW 알고리즘을 수행하는 방식인 S-LZW-BWT (Sensor LZW with Burrows Wheeler Transform) 기법을 제안했다. [10]에서는 엔트로피 기반의 무손실 압축 알고리즘을 제안했다. 이는 JPEG에 사용된 것과 같이 각 데이터의 차분값을 이용한 방법이다.

2. 에너지 수집 무선 센서 네트워크

무선 센서 네트워크는 일반적으로 배터리를 사용하는 노드를 사용하기 때문에 수명이 제한되어 있

다. 이를 극복하기 위해 주변 환경으로부터 에너지를 수집하는 노드를 사용하는 연구들이 많이 고안되어 왔다 [11]. 이 에너지 수집 센서 노드는 태양, 열, 진동과 같은 에너지원으로부터 에너지를 수집할 수 있다.

이러한 에너지원들 중에서 특히 태양 에너지는 가장 각광받는 에너지원 중 하나이다. 그 이유는 다른 에너지원에 비해 높은 전력 밀도 (약 15mW/cm²)를 가지고 있기 때문이다 [12].

에너지 수집 무선 센서 네트워크에서는 수집되는 에너지를 최대한 활용하면서 노드가 죽지 않게 하는 기법들이 연구되어 왔다. 특히 [13]에서는 에너지 수집 노드의 에너지 모델과, 이 노드가 영원히 살 수 있게 하는 에너지의 경계를 정하는 모델을 제시했다.

III. 에너지 인지 데이터 압축 기법

본 논문에서는 에너지 수집 무선 센서 네트워크에서, 노드의 에너지 상황에 따라 데이터의 수집 빈도를 조절하여 데이터의 정확도를 높이는 에너지 인지 데이터 압축 기법을 제안한다. 이는 주변 환경을 모니터링하기 위해 주기적으로 데이터를 수집하는 무선 센서 네트워크를 기반으로 고안되었다.

이 기법은 노드에서 수집한 에너지가 남을 때, 이를 이용하여 데이터를 추가로 수집하고, 에너지가 부족할 때, 데이터의 수집량을 줄인다. 이렇게 수집된 데이터는 노드의 에너지 레벨에 적합한 압축 기법으로 압축되어 전송된다. 그림 1은 에너지 인지 데이터 압축 기법을 개략적으로 보여준다.

제안하는 기법에서 센서 노드는 에너지 상황에 따라 주기적으로 다음과 같은 두 가지 모드를 선택하여 데이터 수집량을 조절한다.

일반 모드: 센서 노드의 에너지가 충분하지 못할 때 센서 노드는 에너지 절약을 위해 데이터의 수집량을 줄이고, 에너지 소모량이 적은 압축 기법을 이용하여 데이터를 압축하여 전송한다. 이 때 사용되는 압축 알고리즘은 상대적으로 에너지 소모가 적고 압축률이 낮은 기법을 이용한다. 본 논문에서는 이러한 압축 기법으로 S-LZW (Sensor Lempel-Ziv-Welch) 알고리즘 [7]을 사용한다. 이 S-LZW는 비손실 압축 기법 중 하나인 LZW (Sensor Lempel-Ziv-Welch) 알고리즘 [8]을 센서 노드에서 동작할 수 있도록 경량화한 기법이다.

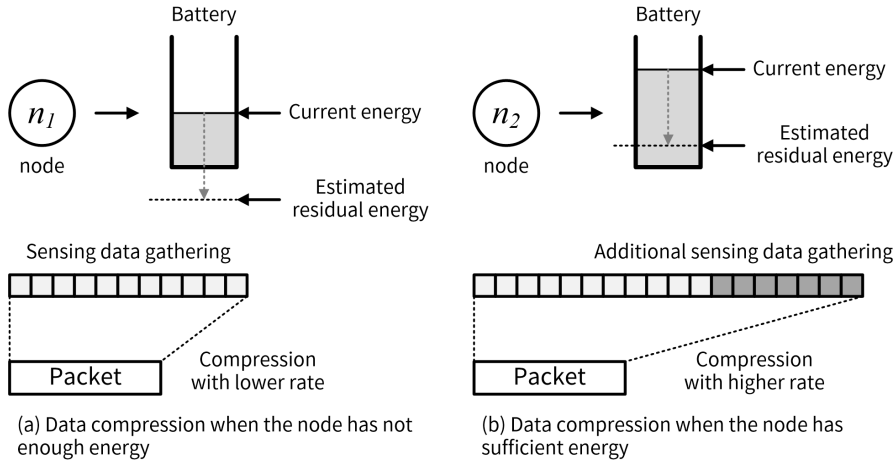


그림 1. 에너지 인지 데이터 압축 기법 개요

Fig. 1 Overview of energy-aware data compression scheme

고압축 모드: 센서 노드가 수집한 에너지가 배터리의 한계를 넘을 정도로 남을 경우, 이를 활용하여 데이터의 정확도를 높이기 위해, 센서 노드는 추가 데이터를 수집한다. 한편, 일반적인 무선 센서 네트워크에서는 싱크 노드 주변 노드들이 패킷 전달을 많이 하기 때문에 다른 노드들에 비해 에너지 소모가 크다. 그 결과, 외곽 노드들이 추가 데이터를 많이 수집하게 되는데 이는 이 추가 데이터를 전달하는 중계 노드들에게 부담을 주게 된다. 따라서 추가 데이터를 수집할 경우, 압축률이 높은 압축 기법으로 이를 더욱 압축해서 전송하여, 중계 노드에게 부담을 주지 않게 해야 한다.

우리는 고압축 모드에서 추가 데이터를 수집할 때 사용되는 압축 기법으로 S-LZW-BWT (Sensor LZW with Burrows Wheeler Transform) [7] 알고리즘을 이용했다. 이 알고리즘은 데이터에 가역변환인 BWT (Burrows-Wheeler Transform) [9]를 수행한 뒤, S-LZW 알고리즘을 수행하는 방식이다. BWT를 적용하는 데에는 추가 연산을 수행하여 에너지가 S-LZW에 비해 많이 소모되지만, 압축률을 높일 수 있다. 표 1은 두 모드에서 사용된 압축 기법들의 압축률과 압축 소모 에너지를 보여준다 [9].

1. 센서 노드의 동작

이 기법은 에너지 수집 센서 노드가 주기적으로 데이터를 수집하고 이를 모아서 싱크 노드에 전달하는 지연 내성 네트워크 [14]를 대상으로 한다. 센서 노드는 주기 P_s 마다 주변 환경으로부터 데이

표 1. 압축 알고리즘 비교 [9]

Table 1. A comparison of compression algorithms [9]

	S-LZW	S-LZW-BWT
Compression rate	27.25%	32.975%
Energy Consumption	0.045mJ/B	0.116mJ/B

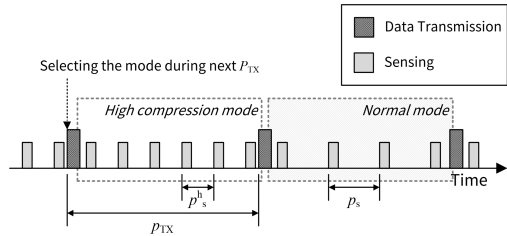


그림 2. 시간에 따른 센서 노드의 동작

Fig. 2 The operation of nodes with time

터를 수집하고, 주기 p_{TX} 마다 모여진 데이터를 압축해서 전송한다. 이 때, 각 노드는 다음 데이터 전송 주기 p_{TX} 동안 사용할 압축 알고리즘과 수집 주기 P_s 를 결정한다. 본 논문에서는 이렇게 데이터를 수집하여 전송하는 주기 P_{TX} 를 한 라운드로 표기하고 있다. 그림 2는 2라운드 동안의 시간에 따른 센서 노드의 동작을 보여준다.

2. 동작 모드의 선택

제안된 기법에서 센서 노드는 에너지 수집량과

사용량으로 계산된 예상 에너지 잔량에 따라, 압축률과 데이터 수집 주기를 동적으로 변화시킴으로써 노드의 정전 시간을 최소화하고, 동시에 데이터의 정확도를 높인다. 이를 위해 각 노드는 데이터 전송 주기 P_{TX} 마다 자신의 다음 주기 동안의 동작 모드를 결정한다.

일반 모드 → 고압축 모드: 일반 모드에서 동작하는 센서 노드의 수집된 에너지가 배터리 용량을 초과할 경우, 남은 에너지는 버려지기 때문에 수집되는 에너지를 낭비하게 된다. 이 경우, 여분의 에너지로 데이터를 추가 수집하여 데이터의 정확도를 높이는 고압축 모드를 선택한다.

센서 노드가 다음 모드 선택 시기까지 과충전되는지를 알아보기 위해, 노드의 에너지를 미리 예측해야 한다. 현재 시각이 t 일 때, 모드 선택 주기 p_{TX} 후에 노드의 남은 에너지 $E'_r(t, p_{TX})$ 는

$$E'_r(t, p_{TX}) = E_r + \int_t^{t+p_{TX}} (P_h(\tau) - P_{sys}(\tau)) d\tau \quad (1)$$

가 된다 [15]. 여기서 $P_h(t)$ 는 t 시간의 수집전력, $P_{sys}(t)$ 는 일반 모드에서의 소비전력을 나타낸다. 이 $P_h(t)$ 는 기존의 수집 에너지 예측 기법들 [16, 17]을 이용하여 예측 할 수 있고, $P_{sys}(t)$ 의 값은 이전에 노드에서 측정된 에너지 소모량을 이동 평균을 이용하여 예측할 수 있다.

식 (1)의 $E'_r(t, p_{TX})$ 가 배터리 용량 C 보다 클 경우, p_{TX} 동안 에너지가 낭비될 수 있다는 것을 의미한다. 따라서 p_{TX} 기간 동안 다음의 조건

$$E'_r(t, p_{TX}) > C \quad (2)$$

를 만족시키면 센서 노드가 수집한 에너지가 낭비되기 때문에, 남은 에너지를 활용하여 데이터 수집량을 증가시키는 고압축 모드를 선택한다.

고압축 모드 → 일반 모드: 고압축 모드에서 동작하는 센서 노드의 소모 에너지가 커서 노드가 죽을 수 있을 경우, 정전시간을 줄이기 위해 일반 모드를 선택한다. 센서 노드가 다음 모드 선택 시기까지 에너지가 고갈되는지를 알아보기 위해서는 다음 모드 선택 시기까지의 예상 에너지량이 노드의 동작 한계 에너지량 아래로 떨어지는지를 봐야 한다.

식 (1)의 노드의 남은 에너지 $E'_r(t, p_{TX})$ 를 고압

축 모드에서의 소비전력 $P_{sys}^h(t)$ 로 나타내면

$$E'_r(t, p_{TX}) = E_r(t) + \int_t^{t+p_{TX}} (P_h(\tau) - P_{sys}^h(\tau)) d\tau \quad (3)$$

가 된다. 식 (3)의 $E'_r(t, p_{TX})$ 가 노드의 최소 동작 에너지 E_{min} 보다 낮아지면 노드가 죽을 수 있다는 것을 의미한다. 따라서 p_{TX} 기간 동안 다음의 조건

$$E'_r(t, p_{TX}) < E_{min} \quad (4)$$

를 만족시키면 센서 노드가 죽을 수 있기 때문에, 에너지 소모를 줄일 수 있는 일반 모드를 선택한다.

IV. 성능 평가

우리는 제안된 기법의 성능을 평가하기 위해서 다른 기법들과 비교하는 시뮬레이션을 했다. 본 장에서는 그 시뮬레이션 방법과 결과를 설명한다.

1. 실험 환경

제안된 기법의 성능 측정을 위한 시뮬레이션을 위해 C언어 기반의 시뮬레이터를 제작하여 1) 제안된 기법, 2) 압축을 하지 않은 기법, 3) 압축률이 낮은 압축 알고리즘만 사용한 기법, 그리고 4) 압축률이 높은 압축 알고리즘만 사용한 기법의 총 4가지 기법의 평균 남은 에너지, 정전 노드 수, 그리고 싱크 노드가 받은 데이터 수를 측정했다. 실험에는 200개의 에너지 수집 노드를 임의의 위치에 배치했고, MDT (Minimum Depth Tree) 라우팅 기법을 사용하여 데이터를 싱크 노드에 전달했다. 실험에 사용된 에너지 수집량은 [17]에서 제안된 에너지 수집량 예측 기법을 바탕으로 생성했다. 실험의 각 라운드에는 먼저 모든 노드가 현재까지 얻어진 정보를 바탕으로 자신의 모드를 결정한다. 다음으로 데이터 전송 경로를 찾고, 일정한 수집 주기로 데이터를 수집한 후, 수집된 데이터를 자신이 선택한 모드의 압축 기법을 이용하여 압축해서 싱크 노드로 전송하고 다음 라운드를 시작한다. 그림 3은 위의 실험 과정을 보여준다. 표 5는 실험에 사용된 주요 인자들을 보여준다.

2. 실험 결과

그림 3은 각 기법들의 평균 에너지 변화를 측정 한 결과다. 압축을 하지 않은 기법은 압축에 소모되

표 2. 시뮬레이션 환경

Table 2. Simulation Environments

Parameters	Values
Radio Range	20~30m
TX Power	-5dBm at 3V
RX Power	0dBm at 3V
Baud Rate	250kbps
Super capacitor	20F
S_s	104byte
P_{TX}	20min
P_h	1~3mW
ϵ	15%
Rounds	14 days

는 에너지가 없기 때문에 충전되는 에너지에 의해 과충전 상태를 유지하는 것을 볼 수 있다. 그 외 다른 기법들은 데이터의 추가 수집과 압축으로 인해 에너지 잔량이 낮게 유지되는 것을 알 수 있다. 특히 S-LZW-BWT 기법은 소모 에너지가 크기 때문에 평균 에너지 잔량이 가장 낮다. 제안된 기법은 압축 기법을 선택적으로 이용하기 때문에 이 두 기법의 중간 정도의 에너지를 유지하는 것을 볼 수 있다. 한편, 그림 4의 정전 노드 수를 측정된 결과를 보면 S-LZW, S-LZW-BWT와 제안된 기법은 각각 8%, 11.5%, 8%의 노드가 정전 상태인 것을 볼 수 있다. 제안된 기법을 제외한 나머지 기법들의 결과는 그림 3의 에너지 변화와 비슷한 양상을 보이지만, 제안된 기법의 정전 노드 수는 S-LZW 기법 만큼 적은 것을 알 수 있다. 이는 제안된 기법의 적응적인 모드 선택이 정전 노드의 발생을 효과적으로 억제하기 때문인 것으로 알 수 있다.

그림 5는 각 라운드동안 싱크 노드에 성공적으로 전송된 데이터 총량을 측정된 결과를 보여준다. 에너지가 충분한 초기에는 S-LZW-BWT 기법과 제안된 기법이 데이터를 많이 수집하다가, 시간이 지나서 노드의 에너지가 적어지기 시작하면 S-LZW-BWT 기법을 사용한 경우의 데이터의 수집량이 더 떨어지는 것을 알 수 있는데, 이것은 그림 4에서 살펴본 바와 같이, S-LZW-BWT를 사용했을 경우 에너지 소모가 커서 에너지가 고갈된 노드가 많기 때문에, 이들이 증계해야 할 데이터가 싱크 노드까지 성공적으로 전송되지 않았기 때문이다. 반면 제안된 기법은 노드가 죽지 않는 범위 내에서 적응적으로 추가 데이터를 수집했기 때문에 정전 상태를 효과적으로 억제하고 다른 기법들보다 많은 데이터를 수집할 수 있었던 것을 알 수 있다.

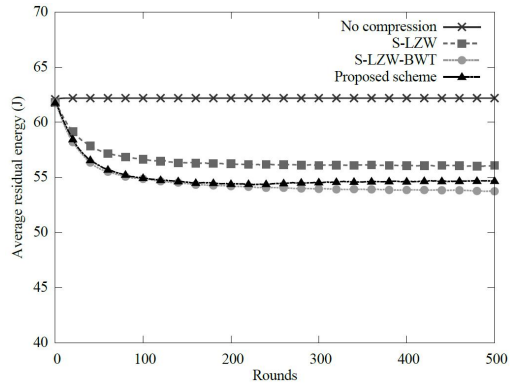


그림 3. 시간에 따른 노드의 전체 평균 에너지 변화
Fig. 3 Average residual energy with time

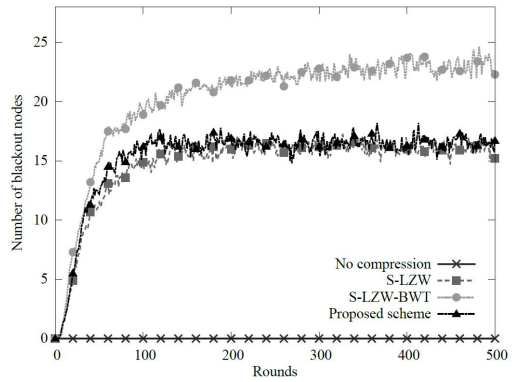


그림 4. 시간에 따른 평균 정전 노드의 수
Fig. 4 Average blackout nodes with time

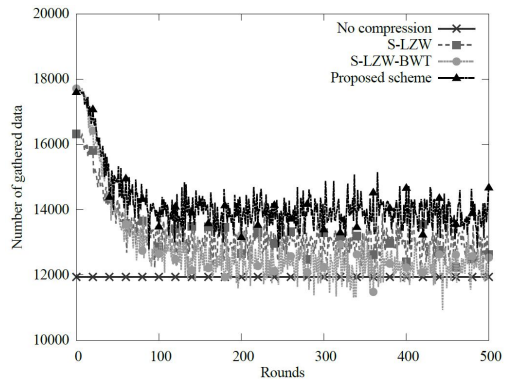


그림 5. 시간에 따른 싱크 노드에 전달된 데이터의 수
Fig. 5 The number of gathered data in a sink node

V. 결론

본 논문에서는 에너지 수집 노드를 사용한 무선 센서 네트워크에서 적응적으로 압축 알고리즘을 선택함으로써, 정전 노드의 발생을 억제하는 동시에 데이터 수집량을 늘려 데이터의 정확도를 높이는 기법을 소개했다.

제안된 기법은 수집 에너지의 과충전이 예상될 경우, 남은 에너지로 데이터 수집 주기를 짧게 하여 추가 데이터를 수집하고 이를 압축률 좋은 압축 기법으로 압축하여 전송함으로써, 데이터의 정확도를 높였다. 반면, 에너지 소모가 커져 에너지가 고갈될 것 같을 때는 데이터 수집 주기를 늘리고, 이를 소모되는 에너지가 적은 압축 기법을 이용하여 압축하여 전송함으로써, 에너지 고갈을 억제했다.

시뮬레이션을 통해 성능을 측정된 결과, 제안된 기법이 압축률이 높은 알고리즘을 사용한 기법에 비해 정전 노드의 발생이 적고, 압축률이 낮은 알고리즘을 사용한 기법에 비해 데이터 수집률이 높은 것을 알 수 있었다. 이렇게 제안된 기법은 다른 두 기법의 장점을 적응적으로 차용하여 좋은 성능을 낼 수 있었다.

References

- [1] J. Yick, B. Mukherjee, D. Ghosal, "Wireless sensor network survey," *Computer Networks*, Vol. 52, No. 12, pp. 2292-2330, 2008.
- [2] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, "Wireless sensor networks: a survey," *Computer Networks*, Vol. 38, No. 4, pp. 393-422, 2002.
- [3] A. Rooshenas, H.R. Rabiee, A. Movaghar, M.Y. Naderi, "Reducing the data transmission in wireless sensor networks using the principal component analysis," *Proceedings of IEEE 6th Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing*, pp. 133-138, 2010.
- [4] T. Olivares, P.J. Tirado, L. Orozco-Barbosa, V. Lopez, P. Pedron, "Simulation of power-aware wireless sensor network architectures," *Proceedings of the ACM international workshop on Performance Monitoring and Measurement of Heterogeneous Wireless and Wired Networks*, pp. 32-39, 2006.
- [5] N. Kimura, S. Latifi, "A survey on data compression in wireless sensor networks," *Proceedings of IEEE International Conference on Information Technology: Coding and Computing*, Vol. 2, pp. 8-13, 2005.
- [6] T. Srisooksai, K. Keamrungsai, P. Lamsrichan, K. Araki, "Practical data compression in wireless sensor networks: A survey," *Journal of Network and Computer Applications*, Vol. 35, No. 1, pp. 37-59, 2012.
- [7] C.M. Sadler, M. Martonosi, "Data compression algorithms for energy-constrained devices in delay tolerant networks," *Proceedings of the 4th International Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, pp. 265-278, 2006.
- [8] T.A. Welch, "A technique for high-performance data compression," *IEEE Computer*, Vol. 17, No. 6, pp. 8-19, 1984.
- [9] M. Burrows, D.J. Wheeler, "A block-sorting lossless data compression algorithm," *Systems Research Center, Technical report 124*, 1994.
- [10] F. Marcelloni, M. Vecchio, "A simple algorithm for data compression in wireless sensor networks," *IEEE Communications Letters*, Vol. 12, No. 6, pp. 411-413, 2008.
- [11] S. Sudevalayam, P. Kulkarni, "Energy harvesting sensor nodes: Survey and implications," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 13, No. 3, pp. 443-461, 2011.
- [12] S.J. Roundy, "Energy scavenging for wireless sensor nodes with a focus on vibration to electricity conversion," *PhD thesis*, 2003.
- [13] A. Kansal, D. Potter, M.B. Srivastava, "Performance aware tasking for environmentally powered sensor networks," *Proceedings of the 9th Joint International Conference on Measurement and Modeling of Computer Systems*, pp. 223-234, 2004.
- [14] K. Fall, "A delay-tolerant network architecture for challenged internets," *Proceedings of the 2003 Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications*, pp. 27-34, 2003.
- [15] Y. Yang, L. Wang, D. K. Noh, T.F.

Abdelzaher, "Solarstore: enhancing data reliability in solar-powered storage-centric sensor networks," Proceedings of 7th conference on Mobile Systems, Applications, and Services, pp. 333-346, 2009.

[16] A. Kansal, J. Hsu, S. Zahedi, M.B. Srivastava, "Power management in energy harvesting sensor networks," ACM Transactions in Embedded Computing

Systems, Vol. 6, No. 4, pp. 1-38, 2007.

[17] J.R. Piorno, C. Bergonzini, D. Atienza, T.S. Rosing, "Prediction and management in energy harvested wireless sensor nodes," Proceedings of IEEE 1st International Conference on Wireless Communication, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace & Electronic Systems Technology, pp. 6-10, 2009.

Ikjune Yoon (윤 익 준)



He received the Ph.D. degree in Computer Science and Engineering from Seoul National University, Korea, in 2016. He is currently an

assistance professor in Department of Smart Systems Software at Soongsil University. His research interests include wireless sensor network and embedded system software.

Email: ikjune.yoon@gmail.com

Semi Jeong (정 세 미)

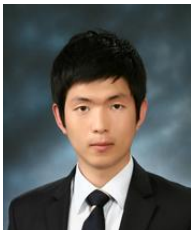


She received the B.S. degree in Electric Engineering from Soongsil University, Korea, in 2015. She is currently a M.S. student in School of Software

Convergence at Soongsil University. Her research interests include cyber physical system, embedded system software, and ubiquitous sensor network.

Email: semi0820@ssu.ac.kr

Jun Min Yi (이 준 민)



He received the M.S. degree in Electric Engineering from Soongsil University, Korea, in 2015. He is currently a Ph.D. student in School of

Software Convergence at Soongsil University. His research interests are cyber-physical system, embedded system, ubiquitous sensor network, and energy harvesting system.

Email: jmyi@ssu.ac.kr

Joonmin Jeon (전 준 민)



He received the M.S. degree in Computer Science and Engineering from Seoul National University, Korea, in 2015. His research interests are real-time

system, system software, mobile computing, ubiquitous software, real-time OS, wireless sensor network.

Email: lsleard@snu.ac.kr

Dong Kun Noh (노 동 건)



He received the Ph.D. degree in Computer Science and Engineering from Seoul National University in 2007. He is currently assistance professor in Department of Smart Systems Software at Soongsil University. His primary research interests include embedded system, mobile computing, and ubiquitous sensor network.

Email: donggeon.noh@gmail.com